

双螺杆连续脱硫生产的再生胶在斜交胎配方中的应用

裴宝民, 马立成, 孟德营, 魏玉山, 张一帆, 谢龙飞

(青岛伊克斯达再生资源有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要: 试验研究双螺杆连续脱硫生产的再生胶在斜交胎配方中的应用效果。结果表明, 在性能方面传统硫化罐生产的再生胶与双螺杆连续脱硫生产的再生胶没有明显的差异。双螺杆连续脱硫生产的再生胶门尼黏度的稳定性不如传统硫化罐生产的再生胶; 在工艺性能和物理性能方面能满足斜交胎胎体加工和使用的要求。

关键词: 双螺杆; 连续脱硫; 再生胶; 斜交胎; 胎体

中图分类号: TQ330.61

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)03-0046-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.03.010

橡胶材料由于其优异的高弹性、密封性, 在国防、国民建设等领域发挥着至关重要的作用, 已成为我国的一种重要的战略资源^[1]。特别是在交通运输领域, 随着我国汽车行业的迅猛发展, 对橡胶资源的需求量也逐年攀升, 随之也产生了大量的废轮胎。据统计, 每年我国废轮胎产生量超过 1 300 万 t, 且以 6%~8% 的速度增长^[2]。废轮胎的不当处置, 不仅对生态环境与人的生命健康带来严重危害, 还会造成废弃资源的巨大浪费。因此, 实现废轮胎的高值化再生利用具有重要的意义。

目前, 再生胶的生产是我国废橡胶最主要的利用方式^[3]。橡胶的再生是通过物理、化学或生物的方法打破三维交联网络中的交联结构, 使其形成可加工的准线性化结构^[4-5]。目前主要的再生方法主要有传统再生法、物理再生法以及新型再生法^[1]。传统再生法主要依靠热能、机械作用以及再生剂的作用下使交联键发生有效断裂, 主要有加热法、低温力化学法、热机械法等^[6-8]; 物理再生法主要借助超声、微波等外界能量, 主要有微波再生法、超声波再生法、远红外再生法等^[9-11]; 新型再生法主要包括微生物再生法^[12]、超临界 CO₂ 再生法^[13]。

在废橡胶再生方法中, 在热机械法基础上发展起来的连续双螺杆挤出再生工艺具有独特的优势: 在再生剂的协助下, 利用热、剪切、挤压的综合作用下使废胶粉获得较高的塑性, 进一步通过精炼获得性能稳定的再生橡胶^[14-15]。双螺杆再生工艺能够实现废胶粉

脱硫制备再生橡胶的连续、密闭及环保生产, 是一种高效的废轮胎回收方式, 具有重要的社会、经济与生态效益。

本工作利用双螺杆脱硫与挤出机, 通过对脱硫工艺的控制, 将废胶粉制备得到了一种性能稳定的再生橡胶, 并考察其在斜交胎胎体中的试验和应用情况。

1 实验部分

1.1 主要原材料

普通再生胶 9[#], 山东 X 家, 青岛伊克斯达再生资源有限公司;

炭黑, N330, 江西黑猫有限公司产品;

丁苯胶 1502, 齐鲁石化;

泰胶 20[#] STR20[#], 泰国;

氧化锌 (ZnO), 石家庄志亿;

硬脂酸 1845 (SA) 杭州油脂化工有限公司产品;

轻钙 (CaCO₃) 淄博海诺化工有限公司产品;

硫磺 (S), 青岛城阳双埠硫磺加工厂产品;

促进剂 (DM), 科迈化工股份有限公司产品;

促进剂 (CZ), 荣成市化工总厂有限公司产品;

其他均为橡胶工业常用原材料。

1.2 配方

1.2.1 试验配方

STR20[#] 60, 丁苯 1502 40, 普通再生胶 9[#] 160,

作者简介: 裴宝民 (1981-), 男, 研发工程师, 主要从事轮胎配方设计和再生胶应用研究。

炭黑 N330 50, 氧化锌 (ZnO) 6; 硬脂酸 1845 (SA) 5; 轻钙 25; 硫磺 (S) 3; 促进剂 DM 0.7, 促进剂 CZ 0.8, 其它 7份

1.2.2 生产配方

除采用山东 X 家普通再生胶 9#, 其他同试验配方。

1.3 主要设备和仪器

BB-1600IM 型密炼机, 日本株式会社神户制钢所(上海代表处)产品; BL-6175-AL 型高低温开炼机, 东莞宝轮精密检测仪器有限公司产品; XLB-D 500×500×2 型平板硫化机, 浙江湖州东方胜莱机械有限公司产品; PREMIER MV 型门尼黏度仪和 PREMIER MDR2000 型无转子硫化仪, 美国阿尔法科技公司产品; WAH17A 型邵尔 A 型硬度计, 上荣邦(北京)科技有限公司提供; 5965 型电子万能材料试验机, 美国 Instron 公司产品; Digitest II 型高低温回弹试验机, 德商博锐仪器(上海)有限公司产品;

1.4 试样制备

1.4.1 胶料采用两段混炼工艺

一段混炼工艺为: 在密炼机中先加入生胶、再生胶混炼 20 s, 再加入 ZnO、SA、N330、轻钙等其他母炼药品) 混炼均匀后 140~150 °C 后排胶。胶料在开炼机上补充加工, 薄通 3 次后调整辊距出片, 一段混炼胶停放 4 h 后备用。

二段混炼工艺为: 在密炼机中加入一段混炼胶混炼 20 s, 再加入硫磺和促进剂, 混炼 2 min 或 100 °C 后排胶。胶料在开炼机上补充加工, 薄通 3 次后在 2.2 mm 辊距下出片, 终炼胶停放 8 h 后备用。

1.4.2 大配合试验

大配合试验胶料采用两段混炼工艺, 一段母胶混炼在 GK400 型密炼机中进行, 转子转速为 45 r/min, 压砣压力为 10 MPa, 混炼工艺为: 加入生胶、再生胶、炭黑等其他母炼药品, 混炼 40 s 后再提栓压栓, 混炼均匀后排胶 [(160±5)°C]; 二段终炼混炼在 GK270 型密炼机中进行, 转子转速为 25 r/min, 压砣压力为 8 MPa, 混炼工艺为: 加入一段混炼胶、硫化促进剂等终炼药品, 混炼均匀后排胶 [(105±5)°C]。各段混炼胶按现场工艺标准进行停放待用

将混炼胶采用平板硫化机上硫化, 硫化条件为 150 °C ×30 min。

1.5 性能测试

各项性能均按相应的国家标准进行测试。

2 实验结果与讨论

2.1 再生胶理化分析

从表 1 中可以看出(并结合多批次检验结果统计分析), 表 1 中伊克斯达再生胶与传统再生胶物理性能和灰分差异不大, 但多批次检验结果表明, 伊克斯达再生胶与传统再生胶门尼黏度要高一些。

表 1 再生胶理化性能检测结果

项目	标准	伊克斯达	山东 X 家
125 °C 加热减量 /%	≤ 1.0	0.4	0.66
灰分含量 (825 °C) /%	≤ 10	7.23	7.46
丙酮抽出物, %	≤ 20	15.1	14.8
门尼黏度, $M_L(1+4)_{100}^{\circ C}$	60±10	59.7	56.3
密度 / (g·cm ⁻³)	≤ 1.20	1.187	1.20
硬度 / 度	60±5	58	60
拉伸强度 (145 °C ×10 min) / MPa	≥ 9.0	9.9	9.6
扯断伸长率 (145 °C ×10 min) /%	≥ 350	365	383

2.2 小配合试验

从表 2 试验结果可以看出, 使用伊克斯达再生胶生产的胶料门尼黏度值要略高于传统硫化罐再生胶生产的胶料, 两种再生胶生产的胶料的门尼黏度、门尼焦烧时间和硫化数据基本相当, 胶料的硫化速度相当, 使用伊克斯达再生胶生产的胶料比重偏低, 硬度偏高, 且对胶料的加工性能无不利影响。

表 2 小配合试验检测结果

项目名称	山东 X 家	伊克斯达
硫化特性 161 °C ×25 min	/	/
M_L / dNm	1.7	1.64
M_H / dNm	10.55	10.29
T_{c10} / min	1.11	1.12
T_{c90} / min	3.22	3.52
门尼黏度, ($M_L1+4, 100^{\circ C}$)	48.92	51.48
门尼焦烧, (127 °C, t_5) min	10.49	10.43
硫化条件 150 °C / min	30	30
邵氏 A 硬度, 度	59	60.3
密度 / (mg·m ⁻³)	1.206	1.20
拉伸强度 / MPa	10.56	11.63
扯断伸长率 /%	486	484
300% 定伸应力 / MPa	6.62	7.01
撕裂强度 / (kN·m ⁻¹)	52.57	53.30
回弹性 /%	32.5	33.5

小配合试验胶料的物理性能胶料的拉断伸长率和撕裂强度等基本物理性能变化不大, 且定伸应力、拉伸强度能有所提升。

2.3 大配合试验

根据小配合试验分析结果, 选择大料试验配方, 进行了大料物理性能和生产工艺性能对比试验, 其试验结果见表 3。

从表 3 可以看出大配合试验结果与小配合试验结果基本一致。

表3 大料试验检测结果

项目名称	山东 X 家	伊克斯达
硫化特性 161 °C × 25 min	/	/
M_L /dNm	1.61	1.62
M_H /dNm	9.98	10.13
T_{c10} /min	1.10	1.12
T_{c90} /min	3.48	3.26
门尼黏度, (M_L+4 , 100 °C)	53.21	52.2
门尼焦烧, (127 °C, t_5)/min	10.39	10.42
硫化条件 150 °C / min	30	30
邵氏 A 硬度 / 度	60	59.6
密度 / ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1.203	1.20
拉伸强度 / MPa	10.48	11.61
扯断伸长率 / %	480	478
300% 定伸应力 / MPa	6.86	6.98
撕裂强度 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	52.1	46
回弹性 / %	33.3	32.6

2.4 工艺及成品性能

为进一步验证胶料的质量及现场轮胎加工制造工艺性能, 现将试验配方胶料进行压延、成型、硫化等后工序试制成品试验轮胎。结果表明, 试验配方胶料在轮胎加工制造过程中生产正常, 半成品部件表面光滑平整、尺寸稳定, 无气泡、起鼓、破边、接头黏性不良等现象发生, 符合现场轮胎加工制造工艺标准要求。

成品轮胎按照国家标准进行室内耐久性试验, 结果表明, 试验轮胎行驶 47 h 未损坏, 满足国家要求。

2.5 经济效益分析

伊克斯达双螺杆连续脱硫生产的再生胶与传统硫化罐脱硫再生胶价格一致, 生产的胎体胶料的比重偏低, 胶料的体积成本略有优势。

3 结论

(1) 物理性能方面: 通过对比验证, 使用伊克斯达双螺杆连续脱硫生产的再生胶比传统硫化罐脱硫再生胶生产的胎体胶料拉伸性能要高 1 MPa, 其它基本性能相近, 在相同条件下对胶料的硫化特性、物理性能、加工性能以及现场生产制造工艺性能无明显不利影响, 且满足混炼胶加工工艺性能和轮胎生产制造工

艺标准要求。

(2) 成本方面: 使用伊克斯达双螺杆连续脱硫生产的再生胶比传统硫化罐脱硫再生胶生产的胎体胶料的比重偏小, 胶料的体积成本略有优势, 可节约材料成本。

参考文献:

- [1] 孔维荣, 张云灿. 废旧轮胎胶脱硫再生方法研究进展 [J]. 高分子通报, 2014,(02):78-96.
- [2] 邵玉灿. 废旧轮胎再生炭黑的高值化研究 [D]. 北京化工大学, 2022.
- [3] 任志伟, 孔安, 高全胜. 我国废旧轮胎的回收利用现状及前景展望 [J]. 中国资源综合利用, 2009, 27(06):12-14.
- [4] 覃柳莎, 赵素合. 废橡胶再生技术研究进展 [J]. 橡塑技术与装备, 2007, (03):22-26.
- [5] 王尧. 废橡胶绿色高效解交联的方法与机理研究 [D]. 北京化工大学, 2016.
- [6] Rajan V V, Dierkes W K, Joseph R, et al. Science and technology of rubber reclamation with special attention to NR-based waste latex products [J]. Progress in Polymer Science, 2006,31(9):811-834.
- [7] 汪传生, 袁浪, 胡成全, 等. 不同力化学法制得胎面再生胶的试验研究 [J]. 世界橡胶工业, 2017,44(07):7-12.
- [8] 赵安东. 双螺杆挤出机制备脱硫橡胶及脱硫橡胶改性沥青的性能和机理研究 [D]. 北京化工大学, 2015.
- [9] 田延生, 宋曦梅, 刘升磊, 等. 微波裂解技术在废旧轮胎资源化上的应用 [J]. 山东化工, 2019,48(14):87-89. DOI:
- [10] 徐小林. 废橡胶超声波与机械法再生机理与实验研究 [D]. 青岛科技大学, 2016.
- [11] 徐培福. 节能型远红外脱硫工艺简述 [J]. 中国橡胶, 2006,(17):40.
- [12] 崔肖肖. 废旧橡胶的微生物脱硫再生研究 [D]. 北京化工大学, 2016.
- [13] 史金炜, 江宽, 任冬云, 等. 利用超临界二氧化碳流体制备丁基再生胶的研究 [J]. 橡胶工业, 2014,61(01):12-17.
- [14] 史金炜, 张立群, 江宽, 等. 废橡胶脱硫再生技术及新型再生剂研究进展 [J]. 中国材料进展, 2012,31(04):47-54.
- [15] Yazdani H, Ghasemi I, Karrabi M, et al. Continuous devulcanization of waste tires by using a Co-rotating twin screw extruder: Effects of screw configuration, temperature profile, and devulcanization agent concentration [J]. Journal of Vinyl and Additive Technology, 2013,19(1):65-72.

Application of reclaimed rubber produced by twin-screw continuous devulcanization in bias tire carcass formula

Pei Baomin, Ma Licheng, Meng Deying, Wei Yushan, Zhang Yifan, Xie Longfei

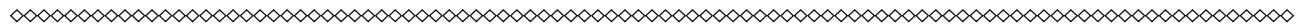
(Qingdao Yikesda Renewable Resources Co. LTD., Qingdao 266400, Shandong, China)

Abstract: This experiment investigates the application of reclaimed rubber from twin-screw continuous

devulcanization in bias tire carcass formulas. Results show no significant performance difference between this reclaimed rubber and that from traditional vulcanization tanks. However, its Mooney viscosity stability is inferior; despite this, its process and physical properties meet the requirements for bias tire carcass processing and application.

Key words: twin-screw; continuous desulfurization; reclaimed rubber; bias tire; carcass

(R-03)



伯乐 4000T 智能注塑机入驻大驰，开启高尔夫球车顶棚智造新篇

Bole 4000T intelligent injection molding machine settles in Dachi, ushering in new era of intelligent golf cart roof manufacturing

近日，伯乐 4000T 智能注塑机正式入驻大驰智能工业园，这一标志性事件推动高端装备与智能制造深度融合，引领高尔夫球车顶棚制造业迈向新台阶。

装备升级：强强联合的产业选择

作为国内高端零部件制造领域的重要企业，大驰智能此次引进的伯乐 4000T 智能注塑机是专为实现高尔夫球车顶棚一体化成型设计的智能装备。这台“工业重器”的入驻，将为大驰智能打造“智慧工厂”提供核心技术支持，显著提升其的制造能力和产品竞争力。

技术解析：重新定义制造标准

卓越性能：拥有 4000t 级锁模力，配备全闭环伺服控制系统，定位精度达 ± 0.01 mm，能够满足大型顶棚组件的一体成型需求。

轻量化突破：该设备生产的顶棚，成功将产品重量从 22 kg 降低至 19 kg，减重幅度显著，为终端产品的能效与性能提升奠定基础。

中心锁模结构：伯乐专利的中心锁模结构，开模行程大、拉杆间距宽，容模能力强，适配大型模具；锁模力分布均匀，有效减少因受力不均导致的翘曲、扭曲现象；实现 100% 的锁模利用率，降低产品内应力，提升尺寸稳定性与耐久性。

智能创新：采用 AI 参数优化系统，可根据材料特性自动调整工艺；独有的模块化压力系统确保大型工件受力均匀；数字孪生技术实现设备全生命周期管理。

高效节能：相比传统设备，生产周期缩短 40% 以上，创新能量回收系统降低能耗 30%。

产业变革：重塑顶棚制造工艺

这台超级设备的引入，将为大驰智能的顶棚制造带来根本转变：

工艺整合：将传统多工序拼接整合为一体化成型，显著提升顶棚的结构强度、外观完整性与密封性能。

品质跃升：将制造精度提升至行业新高度，推动产品品质与国际高端标准全面接轨。

定制化生产：在保持规模效率的同时，能够更好地满足市场日益增长的个性化、多样化定制需求，实现“大规模个性化制造”。

行业展望：智能制造的未来图景

此次合作是生产理念与制造模式的双重革新。大驰智能负责人表示，伯乐 4000T 智能注塑机的引入，将为构建柔性化、智能化生产体系提供支撑，助力中国制造的高端高尔夫球车部件参与全球竞争。

摘编自“伯乐智能”

(R-03)